

第二章 紅外線感測系統

本章將介紹清潔機器人之紅外線感測系統，我們希望將此感測系統運用在清潔路徑規劃與定位控制當中，使清潔機器人運用紅外線感測系統確實執行所規劃之導航方式。而清潔機器人最重要的功用乃是有效率的清潔整體環境，其中包括牆邊死角與未清潔區域，因此機器人必須能夠知道自已的位置及其與週遭環境的關係。

機器人定位最常見的感測位置方式乃是使用機器人本體之軸編碼器的回傳值來估測機器人的位置，但是在這種情形之下，位置辜測是會有累積誤差(Accumulated Error)；換句話說，在機器人每次移動之後，其對於本身位置的估測會越來越不準，如圖 2-1 所示，機器人的實際座標與朝向角跟量測到的座標與朝向角有誤差，這種情況是不被允許的，因其容易導致機器人產生錯誤的後續動作。另一方面，機器人的移動當中，我們無法預測機器人接近牆面時與牆面相差角度，如圖 2-2 所示，也因此無法使機器人轉至與牆面平行的正確角度進而沿著牆面以清潔環境。

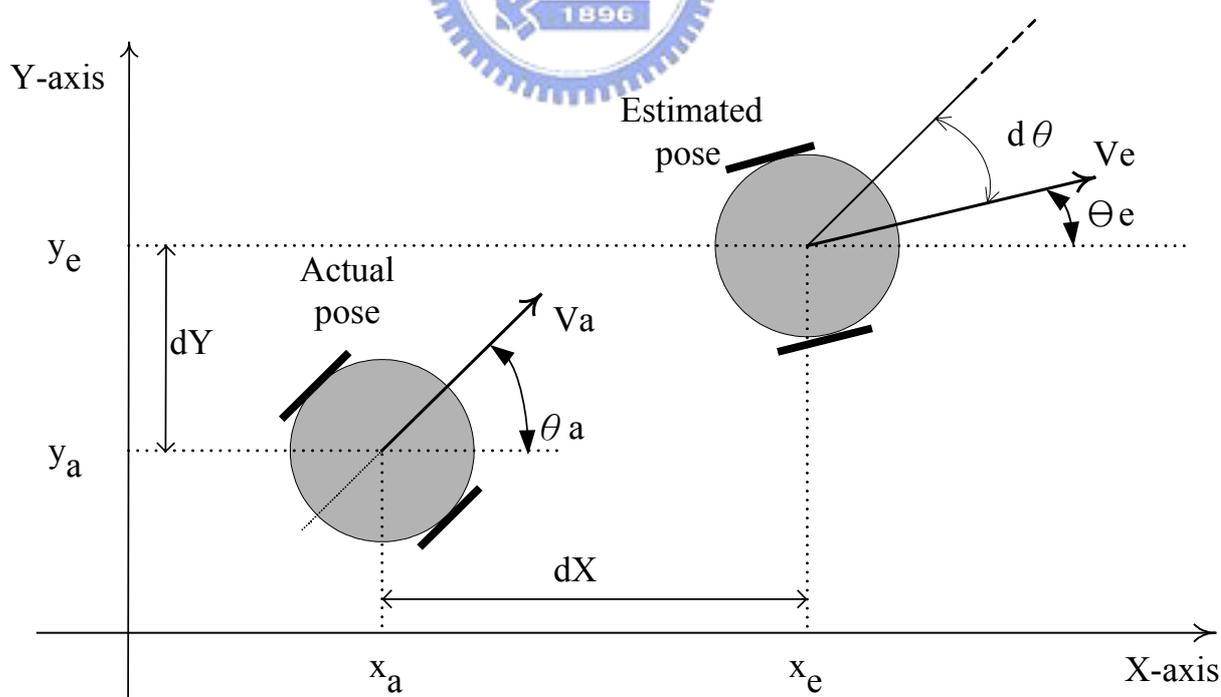


圖 2-1 機器人位置不確定性

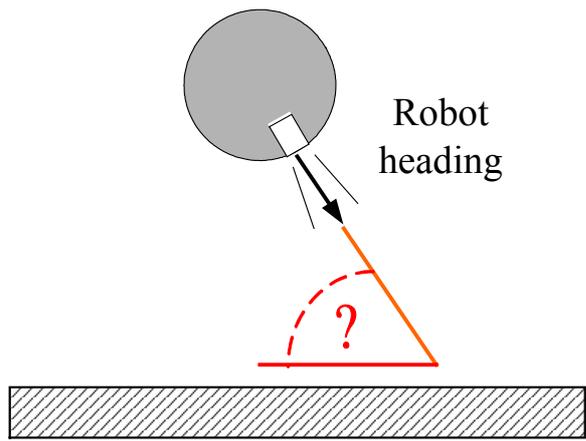


圖 2-2 牆面與機器人之角度不確定性

考量以上之情況，在清潔機器人當中，我們利用紅外線感測器的特性，利用其發射與接收之角度限制，每當機器人遇到牆壁時，就可以對其方向加以修正，來改善機器人自我定位之不確定性，如圖 2-3。

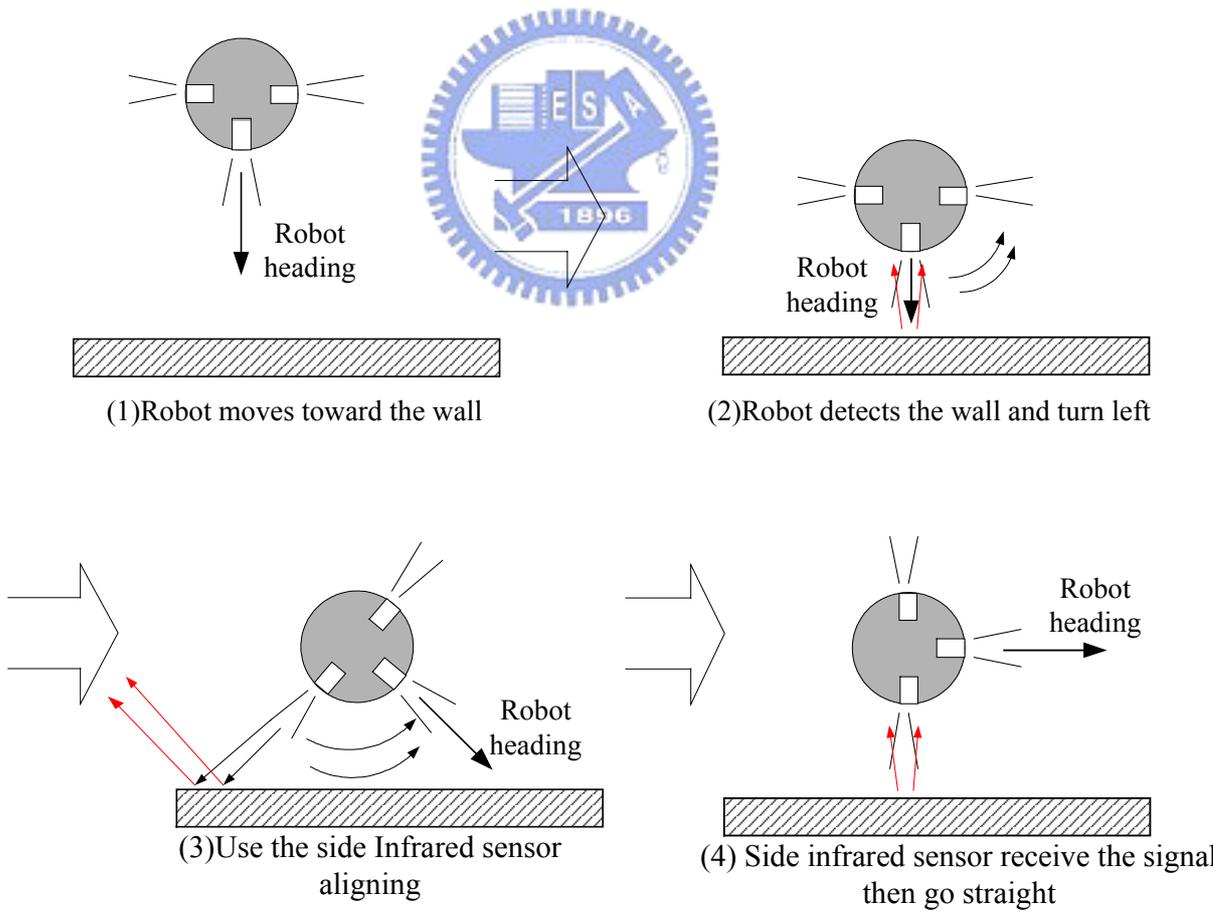


圖 2-3 機器人上之紅外線感測器與移動方式

而紅外線感測器除了能利用其角度限制作為對準牆面的工具，另一方面可以利用不同數位訊號之紅外線 Landmark，使不同方向對應至不同之數位訊號，乃至於可以幫助機器人紀錄還未清潔之區域，進而達到完整地面清潔的目的。如圖 2-4 所示，紅外線 Landmark 輔助機器人記憶地圖，機器人利用前方感測器感測物體，再利用左、右、後三方之角度較小之紅外線感測器對準牆面，做左右來回的地板清潔移動。而將 Landmark 放置於障礙物上較邊緣處。在左右來回清潔移動中，第一次遭遇 Landmark 時能夠記憶 Landmark 上發射的訊號，而在清潔回程時，當第二次再接收相同之 Landmark 訊號，能夠得知障礙物與清潔機器人之相對位置，進而閃避障礙物移動至未清潔之位置，完成清潔任務。

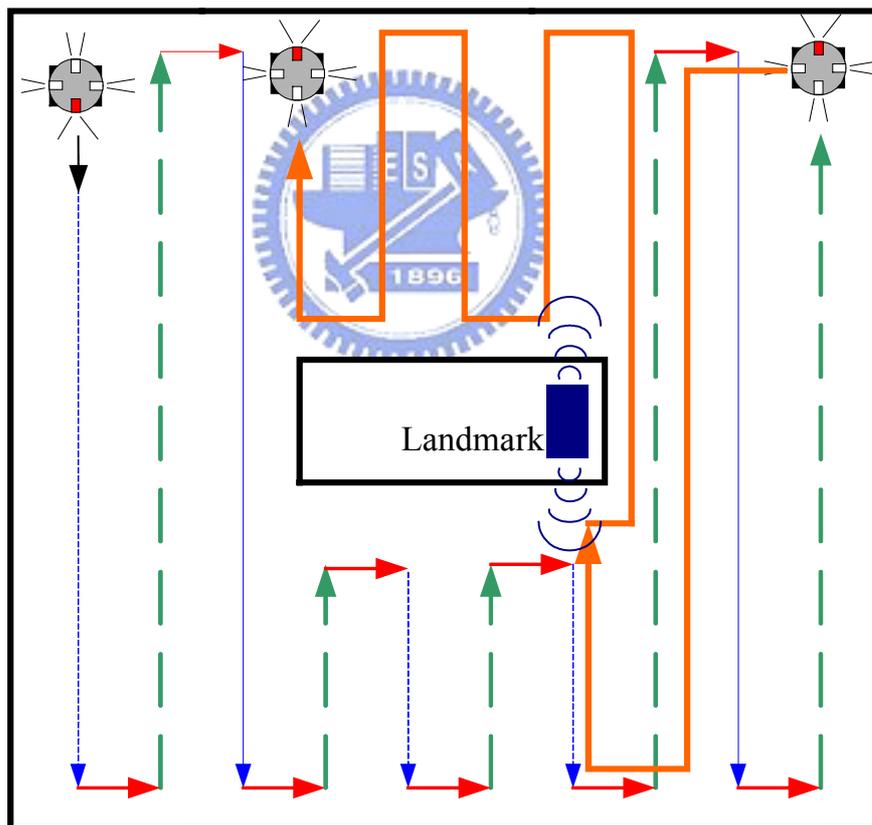


圖 2-4 紅外線 Landmark 輔助機器人記憶

2.1 機器人上紅外線感測裝置與紅外線 Landmark

在此研究中，我們所設計的紅外線發射器共有兩套，一套置於機器人上，作為機器人偵測障礙物使用；另一套作為紅外線 Landmark 之使用，放置於待清潔之區域當中，使機器人能加以辨識進而達成完整清潔。

機器人上之紅外線感測系統，乃是利用紅外線發射出去之紅外線波能量遭遇障礙後所出現的回波，再利用接收模組將訊號進行濾波，以及增加訊號強度轉為數位的 0 與 1 訊號之後，再透過數位處理，產生數值提供機器人使用，如圖 2-5 所示。由於紅外線是經由外在障礙物產生回波後接收，因此所能量測距離與障礙物之本身特性，如：材質，顏色...相關，而所能量測距離也因反射波能量較弱緣故而有所限制。

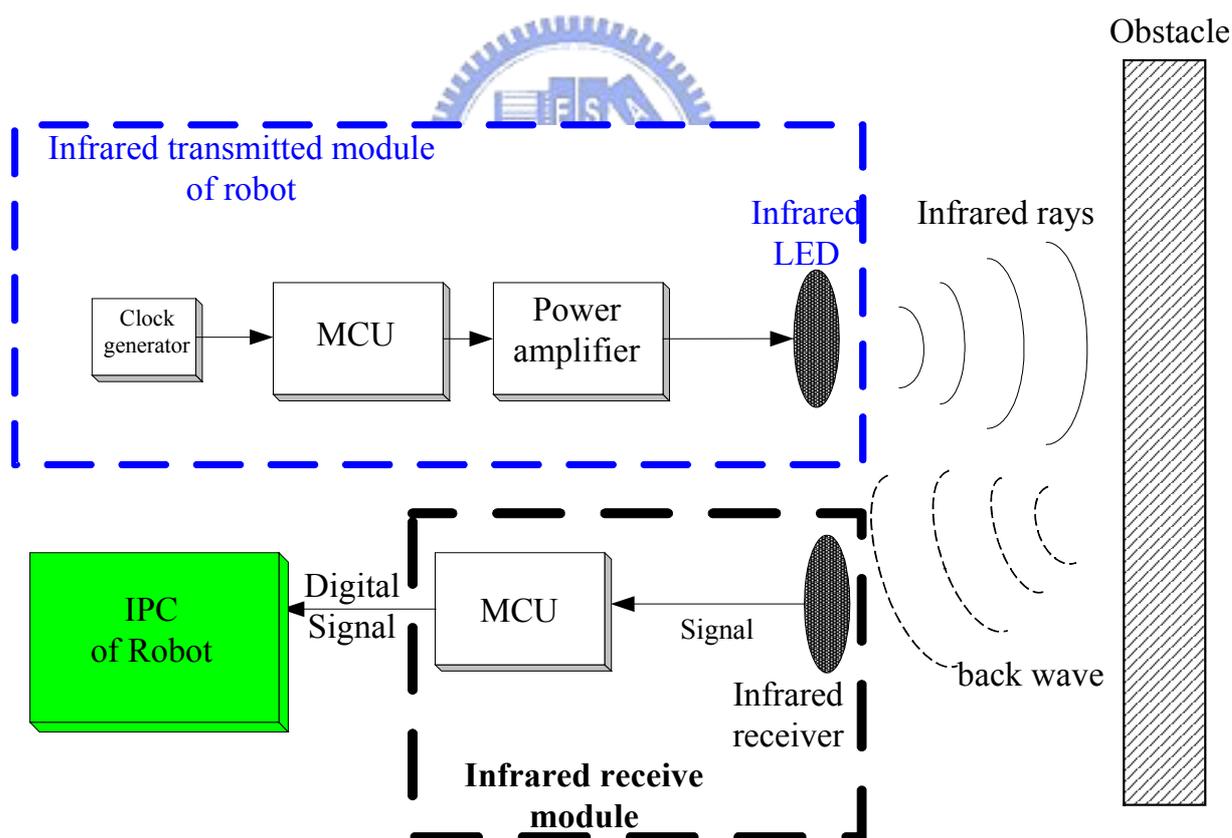


圖 2-5 機器人上紅外線感測系統

在環境中擺設之紅外線 Landmark 直接接收至紅外線接收器不須任何物體反彈訊號產生回波，如圖 2-6 所示。也因此其產生之訊號強度會遠比紅外線發射器透過物體反射要強許多，可接收的距離也較遠，而其產生的訊號與機器人上之紅外線發射器有所不同。

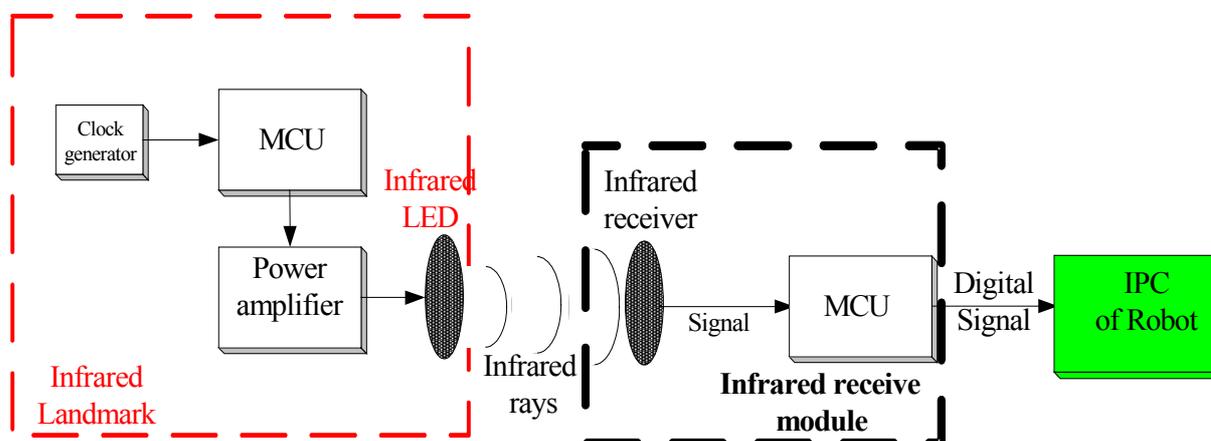


圖 2-6 紅外線 Landmark 紅外線感測系統

2.2 紅外線發射訊號與接收訊號說明

由設計之兩套紅外線感測裝置，我們將會有相對應之兩種不同發射訊號。在此小節當中，首先將會介紹清潔機器人上紅外線發射訊號與相對應之接收訊號；接下來會介紹紅外線 Landmark 的發射與接收訊號，以及其解碼的程序與規格。

2.2.1 清潔機器人上紅外線發射訊號：

由於清潔機器人上之紅外線發射訊號是用以感測週遭環境使用，也因此其發射方式是採取不間斷之連續週期訊號，其發射的週期為 $1800\ \mu\text{s}$ 的低準位訊號，再接著持續 $660\ \mu\text{s}$ 的連續方波，然後再續接 $1800\ \mu\text{s}$ 的低準位訊號，由此週而復始連續發射。而 $660\ \mu\text{s}$ 的連續方波內，其間的方波週期為 $26\ \mu\text{s}$ ，高準位時間為 $13\ \mu\text{s}$ ，低準位時間 $13\ \mu\text{s}$ 以此方波週期在 $660\ \mu\text{s}$ 內連續發生，也因此其 $660\ \mu\text{s}$ 內之方波個數約為 25 個。

而發射以上連續訊號之原因，是由於所使用之紅外線接收器，Liteon IR330 規格為 38KHz 的方波才可接收，此外並需要將 38KH 之連續訊號持

續超過 $500\ \mu\text{s}$ ，此紅外線接收器才可形成一相對應完整訊號。也因此我們產生 $660\ \mu\text{s}$ 的週期為 38KHz 的連續方波，如圖 2-7 所示。若改使用其他之接收器則須改變此發射訊號。

圖 2-8 所示，為 Liteon IR330 紅外線接收器接收至上述訊號產生相對應之接收訊號。然而此 Liteon IR330 工作原理乃是將連續的 $26\ \mu\text{s}$ 屬於紅外線頻率之方波加以積分；若其積分時間高於其規格書上所寫 $500\ \mu\text{s}$ 則會產生相對應之波形，但若積分時間過長超過 $700\ \mu\text{s}$ 則會產生飽和現象則產生低準位的時間只有一瞬間，也因此將連續之方波設定在 $660\ \mu\text{s}$ 用以達成規格書上所示。

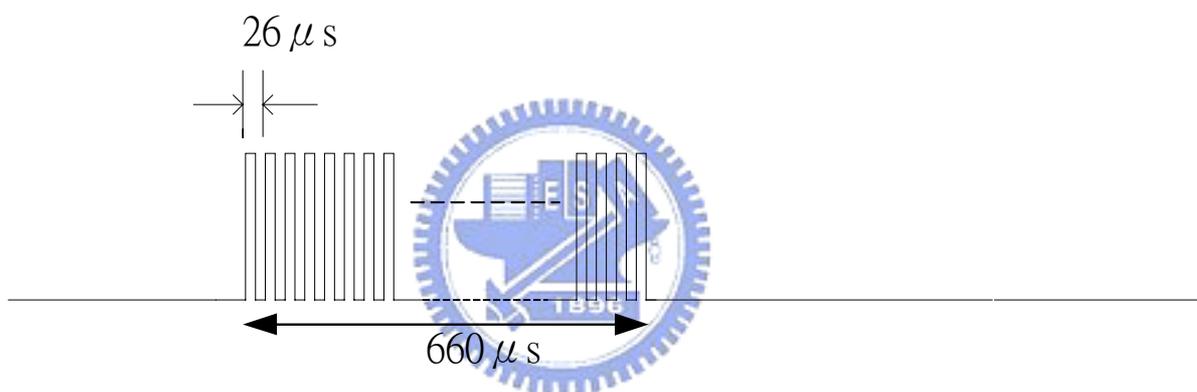


圖 2-7 基本之紅外線訊號

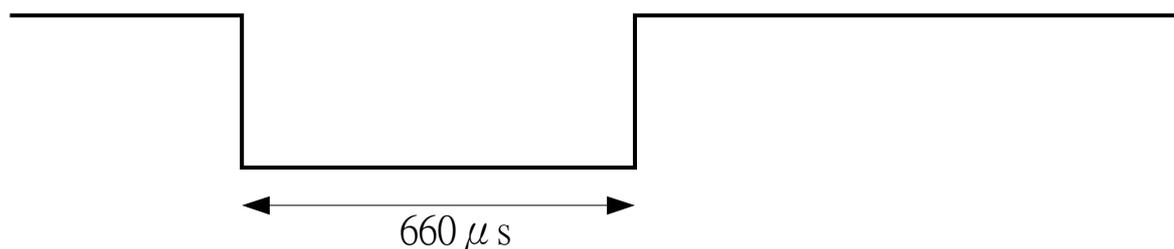


圖 2-8 紅外線模組接收之 IR 訊號

如圖 2-9 所示，若將上述之發射訊號使用 8051 產生訊號連續之波形，而 $1800\ \mu\text{s}$ 低準位間隔是確保其訊號之間的時間週期，使得接收的訊號更加完整。相對應之接收訊號則如圖 2-10 所示， $660\ \mu\text{s}$ 的低準位乃是接收到連續之紅外線訊號，而 $1800\ \mu\text{s}$ 的高準位則是沒接收到符合於接收器規格之紅外線訊號。根據以上接收器的訊號，我們可以利用 8051 偵測其產生的訊號訊號是否為 Low 來研判紅外線接收器的前方是否有障礙物之出現。

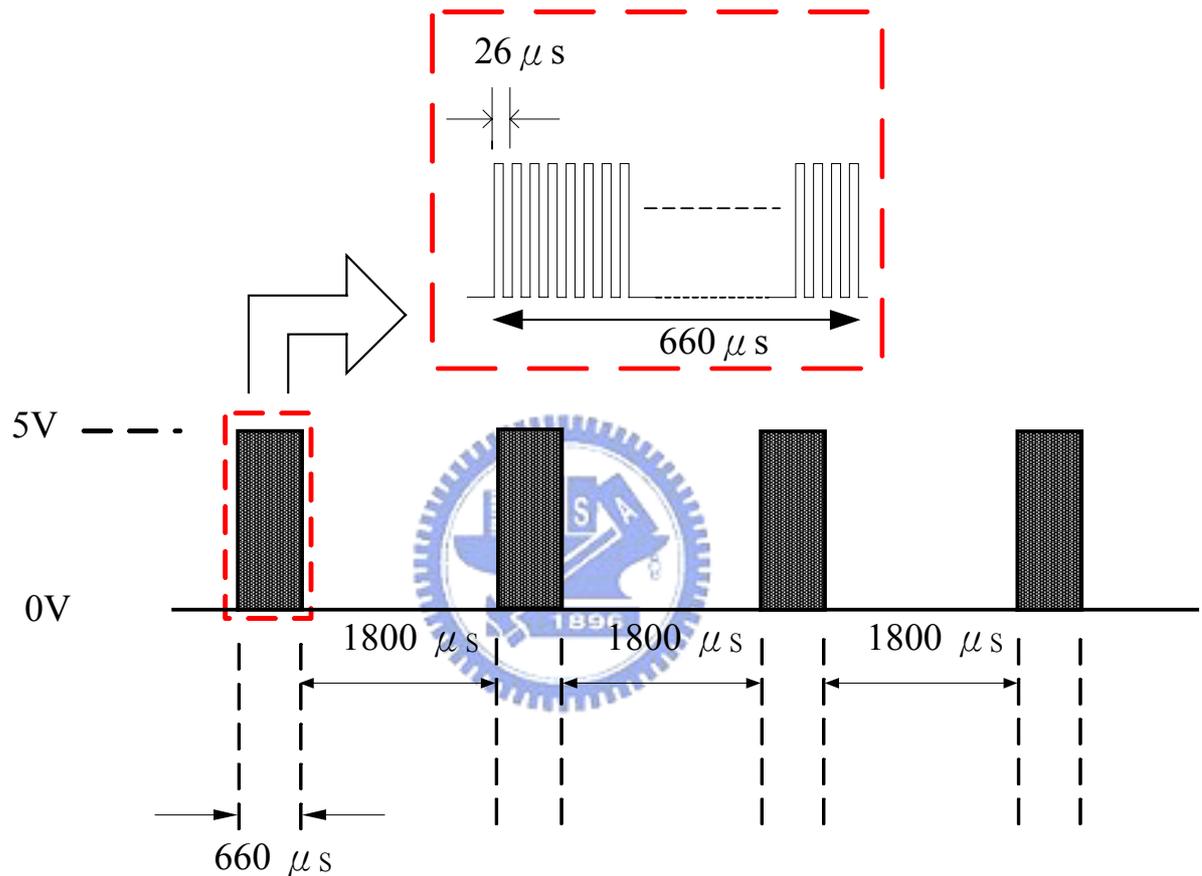


圖 2-9 連續之 IR 發射訊號

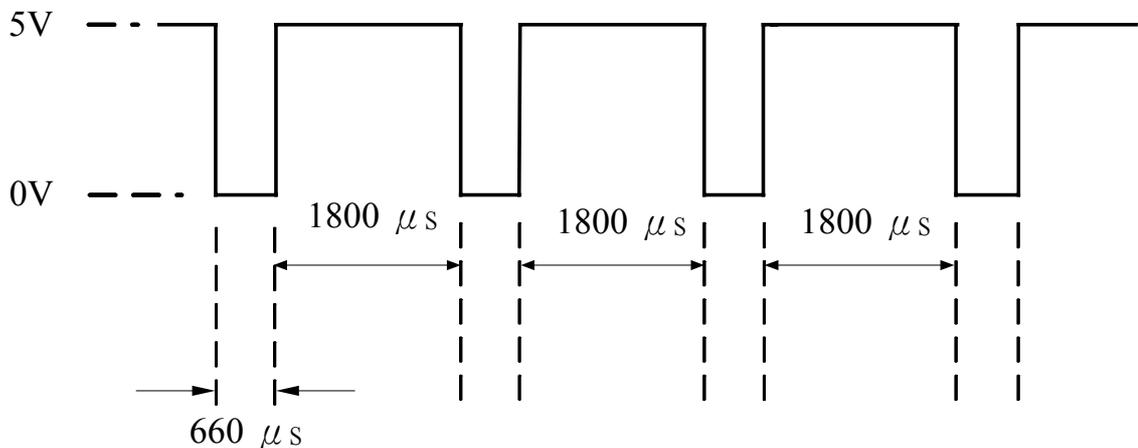


圖 2-10 連續之 IR 接收訊號

2.2.2 Landmark 紅外線發射訊號：

紅外線 Landmark 的訊號原理與在機器人上之紅外線發射器類似，偵測其接收訊號的高低來判斷訊號接收的有無；除此之外，其與清潔機器人上紅外線發射訊號最大的不同，在於除了判斷接收訊號高低的有無之外，更加入判斷接收到訊號時間間隔的長短作為編碼的依據。由之前的接收訊號可以得知，當接收器接收至符合於接收器規格的訊號時就會由原來的高準位狀態變為低準位狀態，也因此我們在紅外線 Landmark 發射時，設計紅外線連續 $550 \mu s$ 的方波與下一個連續 $550 \mu s$ 的方波的時間間隔的不同用來設計我們所需之紅外線數位碼。

所設計之紅外線發射的時間間隔共有三種；其中 Start bit 的連續方波的時間間隔最短，作為是否為完整訊號的依據；Logic 1 間隔時間次之；Logic 0 間隔時間則最長。如表 2-1 所示。除此之外，為了避免與紅外線發射器之訊號干擾，紅外線發射器的連續方波訊號的時間間隔為 $1800 \mu s$ ；也因此將 Start bit 的判別設計為 $1120 \mu s$ 使之小於 $1800 \mu s$ ，就算用來接收紅外線 Landmark 訊號的紅外線接收器接收到機器人上紅外線發射器之訊號，但由於其訊號不符合 Start bit 的規格，就不會開始解碼，因而不會產生機器人上紅外線發射器被解碼訊號所使用的情況發生。

表 2-1 紅外線數位訊號發射編碼位元規格

	發射時間間隔	功能與屬性
Start Bit	$1120 \mu s$	判斷訊號開始
Bit 1	$1560 \mu s$	判斷位元為 Logic 1
Bit 0	$2200 \mu s$	判斷位元為 Logic 0

圖 2-11 所示，乃本論文所設計紅外線 Landmark 產生之紅外線發射訊號，由 Start bit 開始，接著是位元 1，再來是位元 0。而圖 2-12 所示乃相對應之紅外線接收訊號，由於接收器未接收到紅外線訊號時，接收器的輸出則維持高準位，也因此對應之訊號也是由 Start bit 開始，接著是位元 1，再來是位元 0。

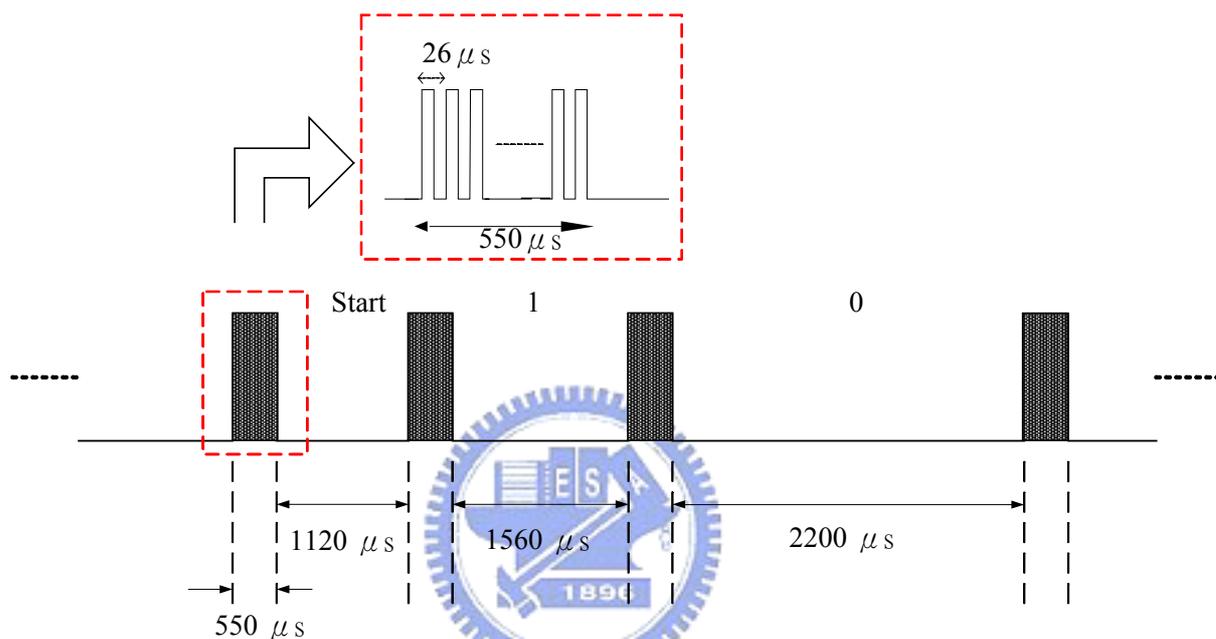


圖 2-11 紅外線 Landmark 發射訊號

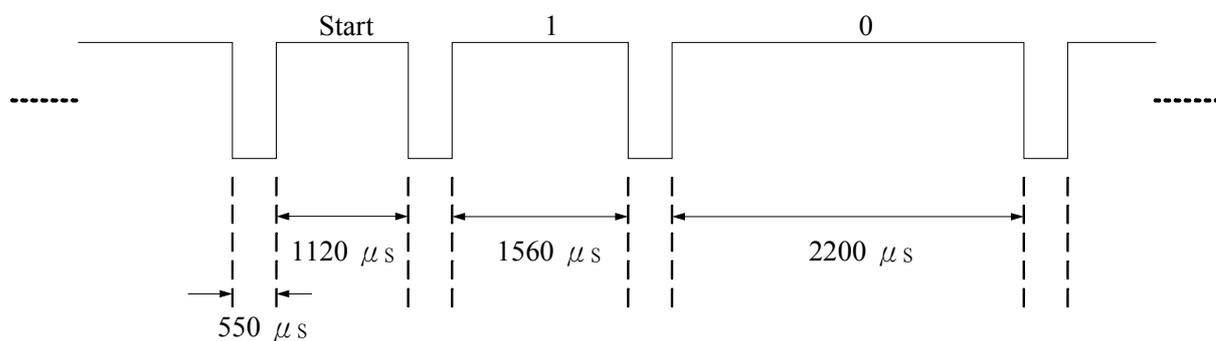


圖 2-12 紅外線 Landmark 接收訊號

根據以上編碼規則，我們所設計之紅外線 Landmark 完整數位碼是設定為 5 位元，共可表達 32 種不同的訊號，其規格從 0~31。圖 2-13 正是”11101”是為 29，圖下方為相對應之訊號接收。若使用上述之編碼方式則可以很簡單的擴充數位碼的長度，只需要重複”1”與”0”的即可，而其一個完整的訊號時間也不會太長，更可以確保接收之訊號之完整性，若時間太長則不易接收完整的訊號。編碼時間長短，如表 2-2 所示。

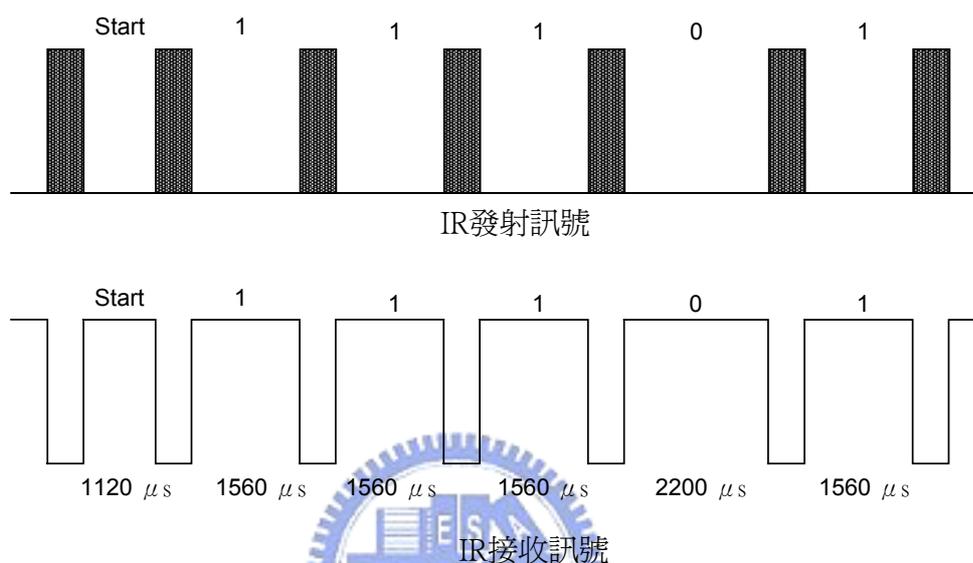


圖 2-13 5bit 發射訊號與接收訊號對應

表 2-2 完整訊號時間

位元數	最短時間(ms)	最長時間(ms)	表示訊號數目
1 位元	4.33	4.97	2
2 位元	6.44	7.72	4
3 位元	8.55	10.47	8
4 位元	10.66	13.22	16
5 位元	12.77	15.97	32
6 位元	14.88	18.72	64
7 位元	16.99	21.47	128
8 位元	19.1	24.22	256
16 位元	35.98	46.22	65536

註：時間計算方式
 最短時間： $1.12ms + 0.55ms \times (2 + \text{位元數}) + 1.56ms \times \text{位元數}$
 最長時間： $1.12ms + 0.55ms \times (2 + \text{位元數}) + 2.2ms \times \text{位元數}$

2.3 電路設計與規格說明

2.3.1 紅外線發射電路

根據上述之感測系統設計，為符合清潔機器人之使用，在清潔機器人上之紅外線發射電路共採用四個方向之紅外線發射，分別是前後左右共四種方向。前方是偵測是否有障礙物存在，角度較大；而左，右，後則是用以對準於牆面使用，其紅外線角度較小。而在各個方向的紅外線發射器位置皆有放置紅外線接收模組用以接收紅外線反射波。在機器人上之紅外線發射器與接收器乃採用不同之電源系統，兩者雖然都是使用 5v 電壓即可驅動所有的電路元件，但是實際上紅外線發射電路由於透過 BJT 將電流放大也因此電流增強的時刻會產生較大之電壓變化，若將接收電路與發射電路使用在同一個系統上面會造成接收錯誤的情況，使得原本紅外線接收器之高準位拉為低準位，也因此將紅外線發射與接收之電路分開製作，避免雜訊發生。

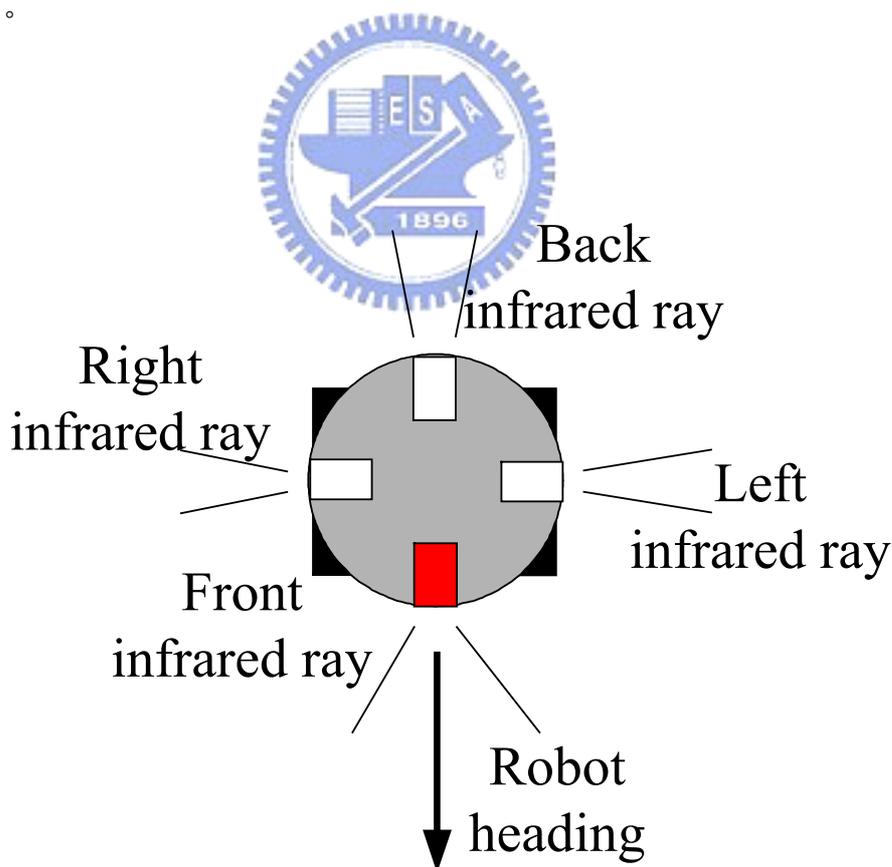


圖 2-14 機器人上紅外線發射器

所選用之 IR LED 是 KODENSHI 公司所製作之 EL-1KL3，在文獻[13]中提到，此 IR LED 在室溫的情況之下發射角度最寬約為 20 度左右，如圖 2-15。若以發射長度 30 公分為例，其紅外線波的寬度約可達 10cm 左右。也因此要使用它對準角度仍須將其角度限制，而在 IR LED 前端使用吸管限制角度，就可限制其發射角度，達到利用紅外線對準牆面的功能。

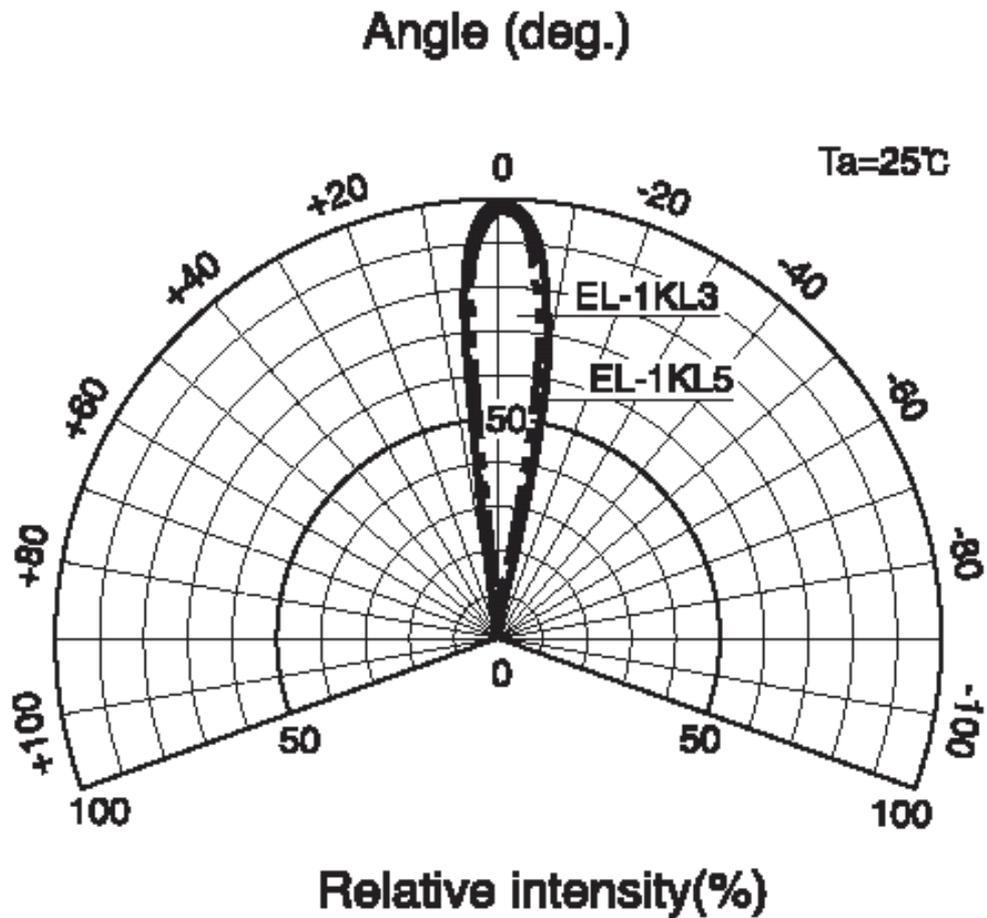


圖 2-15 EL-1KL3 紅外線發射器輻射角度說明[13]

設計之發射電路，如圖 2-16。在電路設計上採用 AT89C51 產生紅外線所需之波形，但因為 IR 發射器所產生之紅外光正比於提供之電流強度，若直接將單晶片所產生之波形直接接上紅外線發射器則訊號太弱無法傳至較遠距離，也因此需 BJT 將電流放大用以驅動紅外線發射器，如此才可以增強紅外光的能量。而根據所設計的驅動電路其經過於 IR LED 之電流約為 43mA 左右，而所使用的 IR LED 最大電流可達 100mA 不會造成元件損壞。

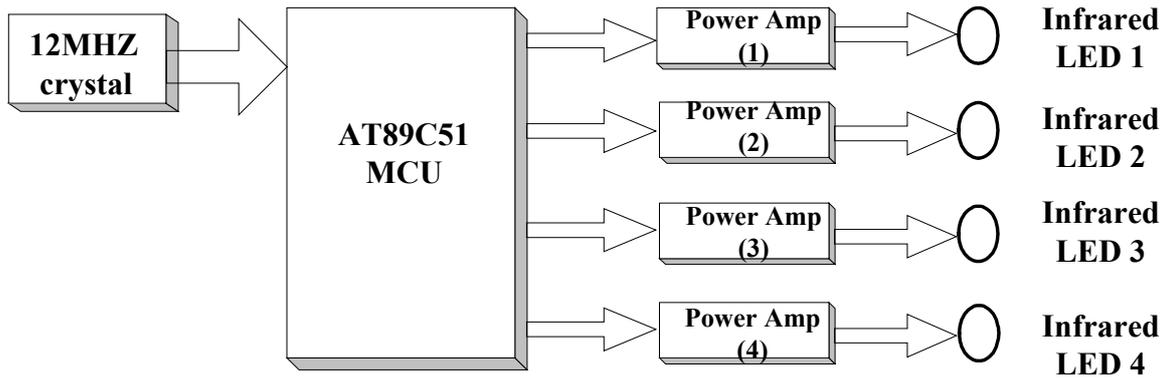


圖 2-16 紅外線發射電路方塊圖

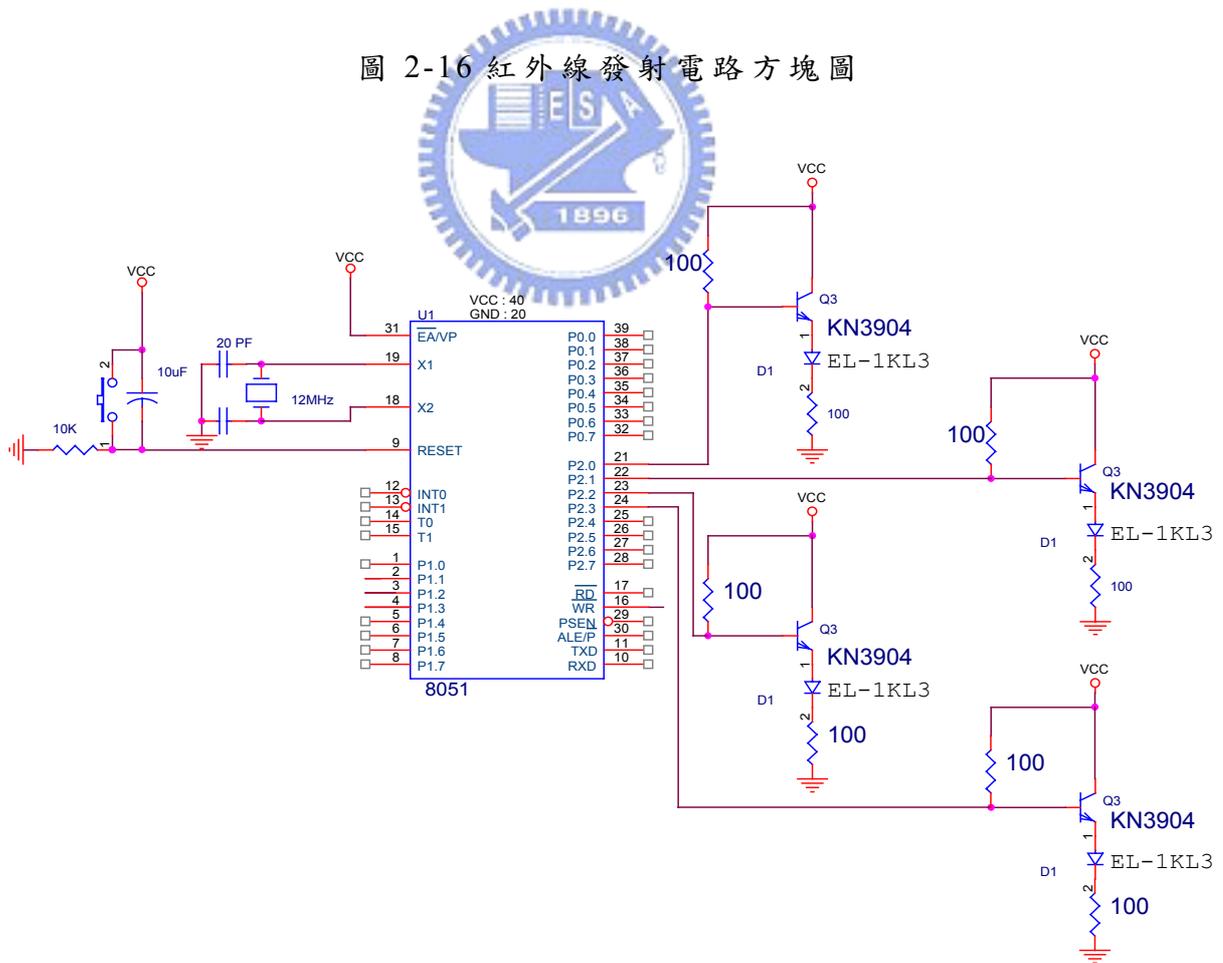


圖 2-17 紅外線發射電路圖

在紅外線 Landmark 電路製作方面與機器人上紅外線發射器相同，其中不同僅在於 AT89C51 產生之波形不同。

2.3.2 紅外線接收電路

在紅外線接收器方面，我們共使用了五個 IR 接收模組，其中四個是接收機器人上紅外線發射器發射經過障礙物反彈之紅外光，第五個個則是用來接收 Landmark 的紅外線，放置於於機器人前方，用來解碼使用。將接收之紅外光訊號透過 8051 單晶片理過後，透過 Rs232 傳至清潔機器人上之 IPC 作為導航控制的依據。圖 2-18~2-20 為紅外線接收器之外觀。其長寬各約 1.2cm。

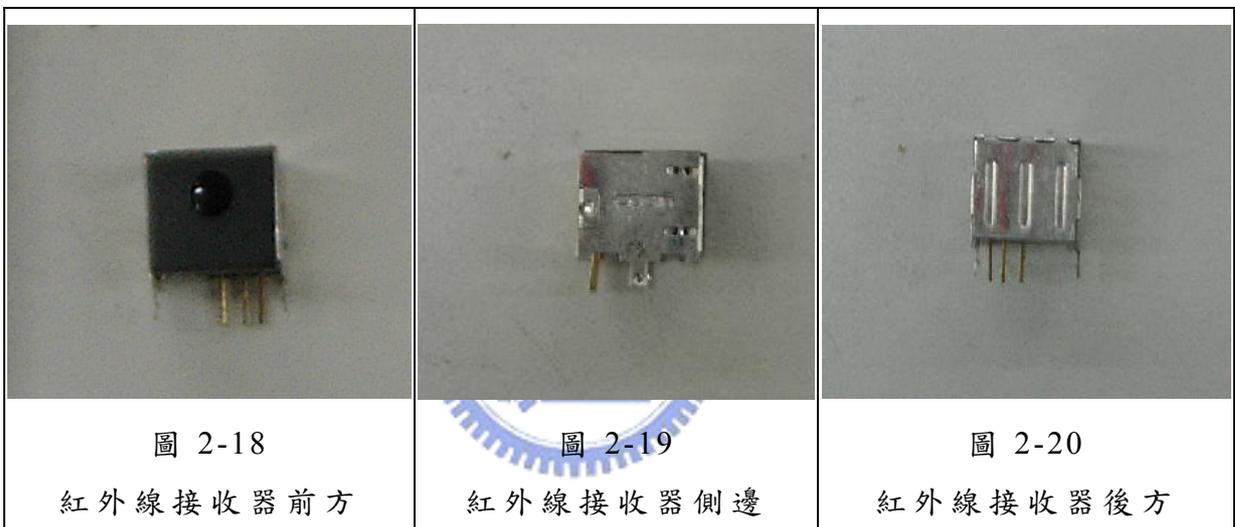


表 2-3 紅外線接收器之規格說明[15]

裝置名稱	供應電壓	接收距離	紅外線波長	方波頻率
IR-330 3pin 紅外線鐵殼接收器	4.7V~5.3V	10M	940nm	38kHz
LowLevelPulseWidth	Min	Typ		Max
	440 μ s	660 μ s		770 μ s
HighLevelPulseWidth	Min	Typ		Max
	440 μ s	660 μ s		770 μ s

其中四組之紅外線模組之輸出訊號接在 8051 單晶片之 P2 上，另一組則是接在 8051 之外部中斷。我們就是偵測其中段間隔隻時間來判斷訊號是屬於 Start bit、0、1。進而解出紅外線 Landmark 的數位訊號碼。

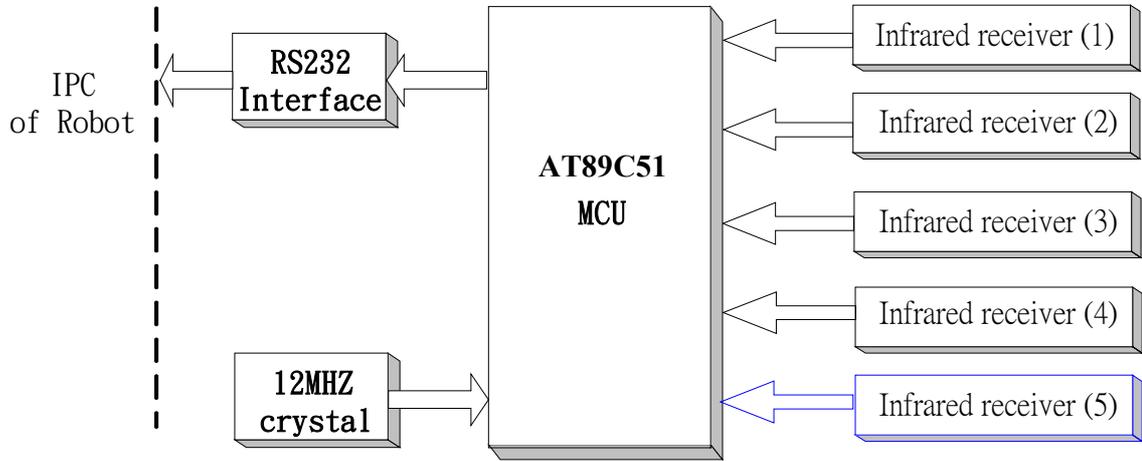
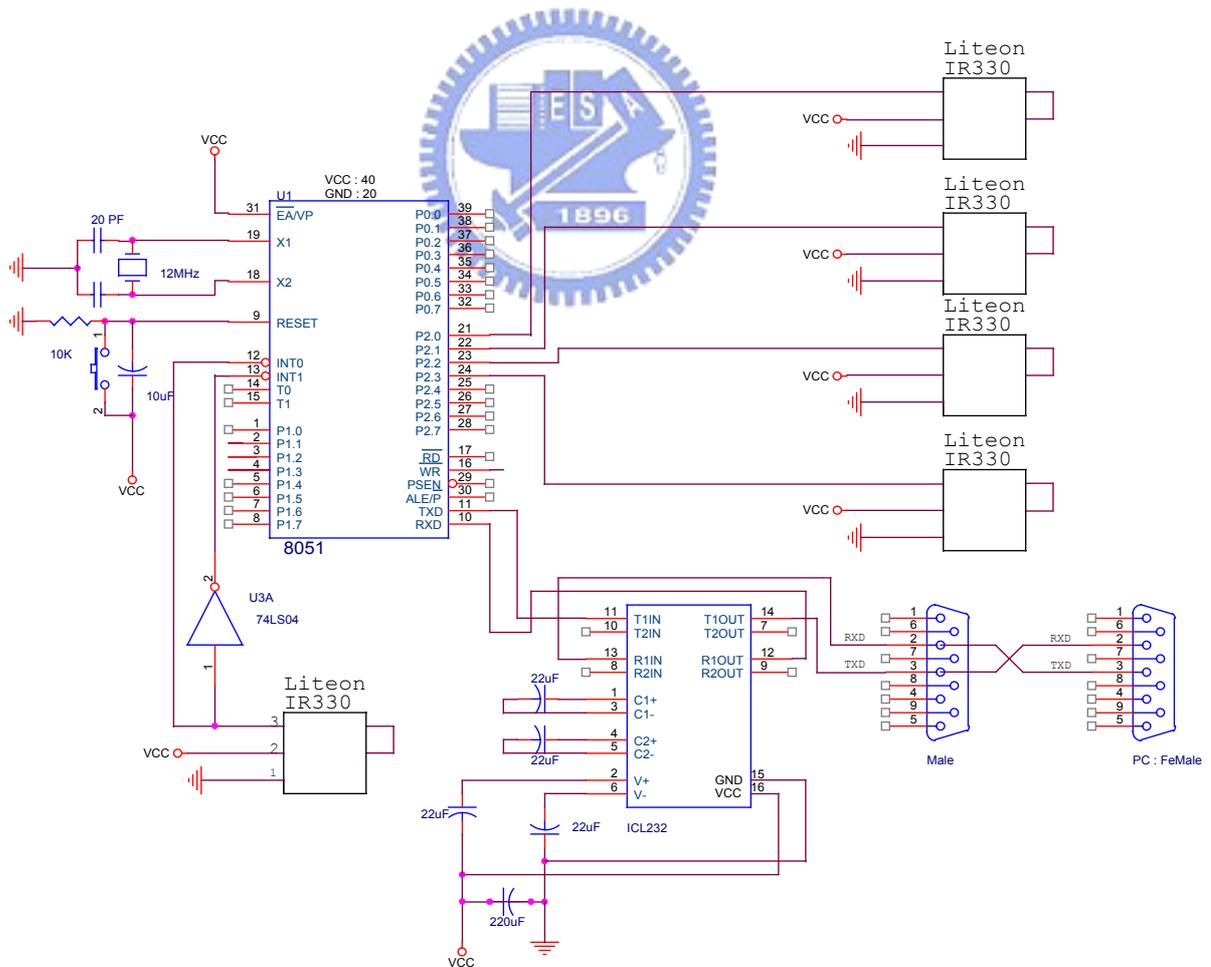


圖 2-21 紅外線接收電路架構圖



2-22 紅外線接收系統電路圖

2.4 測試結果

根據上述之紅外線感測系統設計，我們所產生之紅外線波形如下圖所示。圖 2-24 乃單一週期之紅外線訊號。而此紅外線訊號若直接接收約可達 5m，若經由反射波接收則是所偵測的物體而定，若是白色牆面則約 30~40cm 左右，若為棕色牆面則為 10~20cm 不等，角度與規格大略相同為 20 至 30 度。

2.4.1 機器人上紅外線發射訊號：

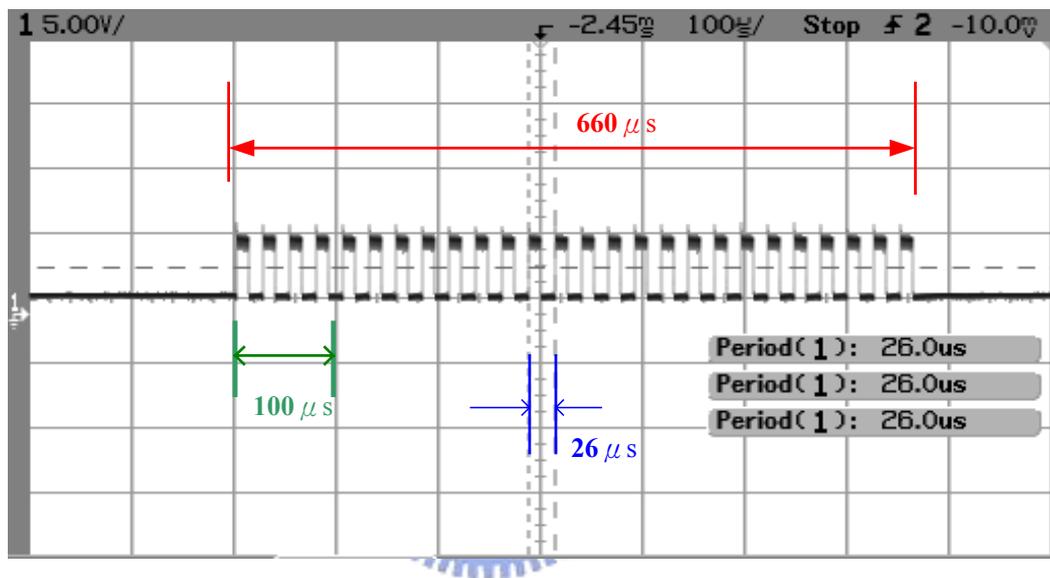


圖 2-23 單一週期紅外線發射訊號

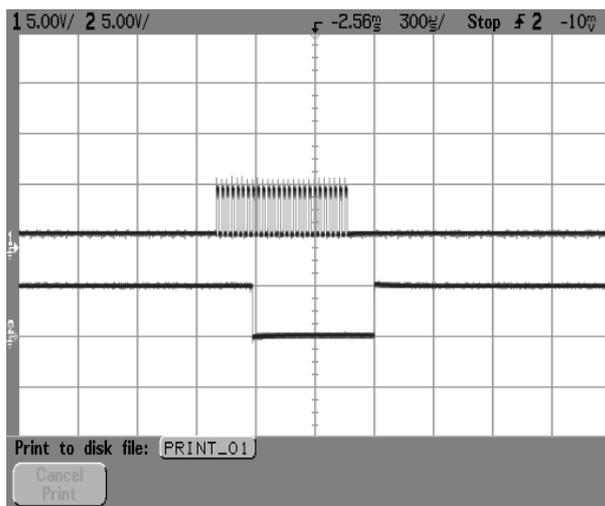


圖 2-24

單一週期紅外線發射與接收訊號

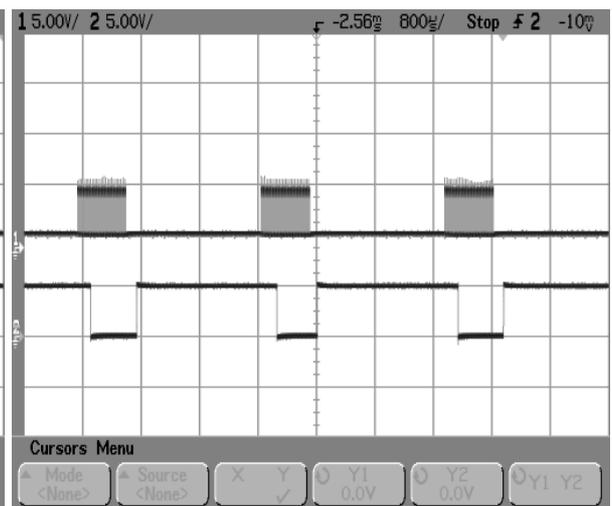


圖 2-25

連續紅外線發射與接收訊號

2.4.2 紅外線 Landmark 發射訊號

由於此訊號乃需要完全解碼也因此他訊號要求的完整度較高，也因此可以收到訊號的情況也為 5m 左右，但若完全解至正確的碼就必須接近為 2m，除此之外角度限制更大。若是要完整的碼的訊號則必須在發射角 10 度之內才可以收到，否則將會解至錯誤的訊號。

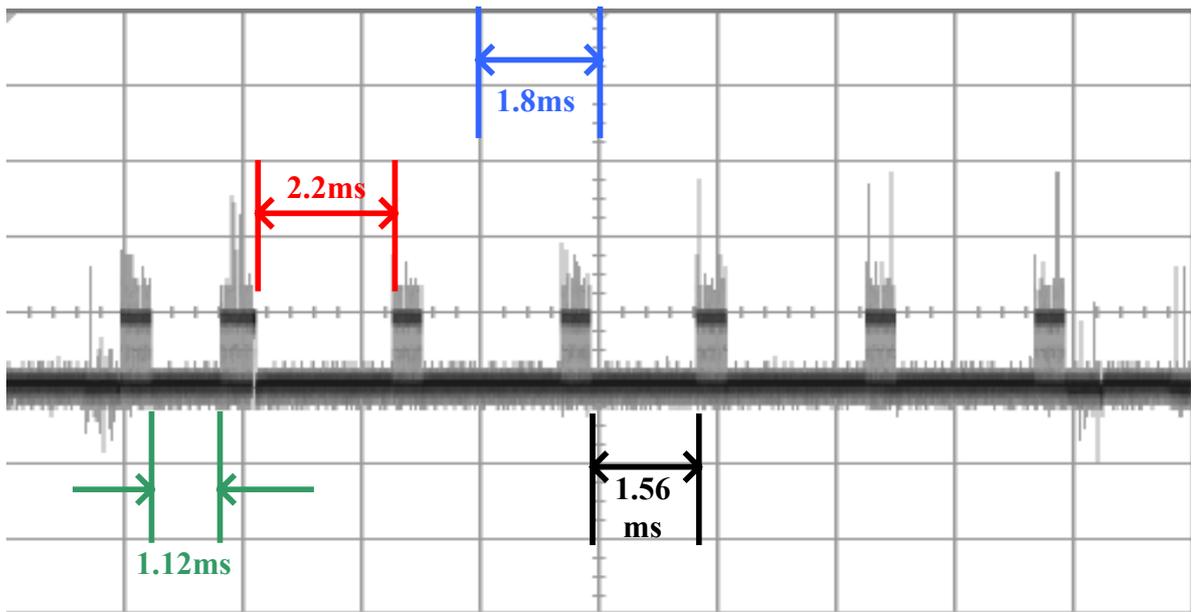


圖 2-26 紅外線 Landmark 發射訊號

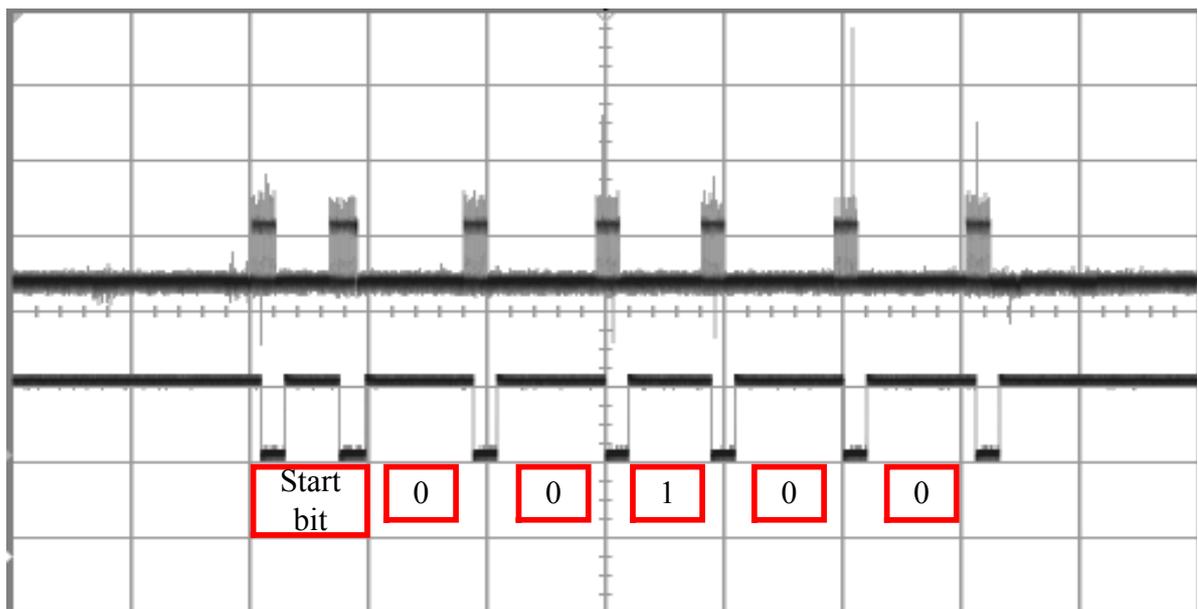


圖 2-27 紅外線 Landmark 發射與解碼訊號

2.5 結論與討論

在電路設計方面，紅外線發射器發射的紅外光會受電壓高低影響而改變其強度，而紅外線接收器亦然。也因此若要固定其偵測距離首先必須提供穩定電壓。利用紅外線感測器偵測物體，也會因為反射物體的材質而改變反射波的強度，也因此距離遠近也有所不一，因此若要四個感測方向的紅外線接收模組同時收到反射的紅外光有其限制所在，深色物體量測的距離較短而淺色物體的量測距離較長。

而在紅外線角度接收方面，我們除了可以限制發射器的角度也同時可以限制接收器的角度，但是雖然我們將其角度限制至最小但是因為能量的不一還是會有散射的情況如圖 2-29，此情況就必須加以調整感測器的恰巧感測的長度，使紅外線散射的情況減到最低，如此才可以使用其對準功能。

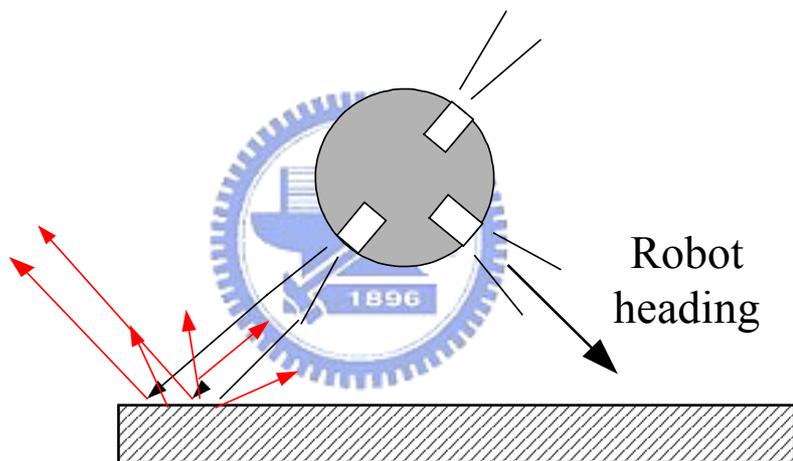


圖 2-28 紅外線散射表示圖